# 有機農業之養分管理

王鐘和
行政院農業委員會農業試驗所

## 前　　言

近代農業經營，農民為了增加作物單位面積之產量以及提高耕作之效率，常形成栽培作物之單一化，及大量施用化學肥料與農藥，雖締造了顯著之增產效果，但也逐漸呈現過度消耗資源、地力日趨衰退以及土壤環境生態遭到破壞等現象，造成對自然環境生態之影響等負面效果，農產品的品質也間接受到影響。因此，維護人類賴以生存之生態環境實為當務之急，在農業產銷之立場，保育農業環境及資源以維持農業之永續性實為今後農業發展之重要途徑，亦為世界農業發展之趨勢。

台灣地處熱帶、亞熱帶之間，氣溫高，雨量多，土壤中所含的植物營養元素經雨水淋洗流失量多，且因採行集約式農業經營，耕作頻繁，可耕土地每年休閒的時間甚為短暫，土壤肥力不斷消耗，必需適當的補充營養元素，作物才能正常的生長。

有機農業為永續性農業之一種，有機農業為一種儘量少用或避免使用化學肥料及合成農業藥劑，配合豆科植物之輪作系統，循環利用農場內外農業廢棄物，以及含植物養分元素之天然礦石等，以維持農業生產之耕作方式。

## 有機農場土壤養分供需

土壤中養分的收支平衡關係如圖一所示，土壤養分的獲得主要來自土壤礦物的風化溶出與有機質的礦質化釋放，作物殘株循環利用，有機質肥料的施用，豆科作物固氮獲得，以及經由空氣、灌溉水與雨水的加入。養分的移出則主要是由於作物的攝取，滲漏淋失、氣化、脫氮以及地表逕流與表土沖蝕等。充分認識土壤養分得失與循環關係，而採取適當的土壤管理方法，可促使天然養分供給量的增加，且減少土壤養分的損失與人工施肥量。

對有機農業來講，有肥沃而健康的土壤，才有量豐質富的作物。在這種觀念

的引導下，有機農業特別重視有機質之養分循環利用與其對土壤物理、化學及生物性質之改善效果，基本做法是利用適當的土壤管理，促進作物殘株、綠肥廄肥等有機資材儘速分解礦化使各種養分進入土壤生質(soil biomass)，然後再循環進入土壤溶液，供植物吸收利用。換言之，各種養分元素在被植物吸收之前，均經由一或多次有機相之循環。這與化學農業直接施化學肥料溶入土壤溶液，在速率上與時間上，儘速滿足植物養分需求的做法，顯然不同。

有機農業由於不使用化學肥料，農家必須掌握大量有機物來源，製造堆肥，以充分供應作物所需之養分。如果環境容許，在主作物之前種植豆科綠肥作物，或間作豆科綠肥作物做爲覆蓋作物，則可以達成氮素之自給自足，而得到與施用一般化學氮肥相接近，或更高的收量。作物從土壤吸取養分，其吸收量因作物品種，以及產量水準而有不同。實施有機栽培之農場面臨最大且直接的問題就是，單靠施用有機物不用化學肥料，如何是夠的供應作物生長養分，生產高品質與高產量之農產品。

至於磷素，鉀素以及其他養分，則雖然大量投入有機物料，與豆料作物輪作等方式，仍較難達到農場內養分之自給自足。有機物料之大量投入，或綠肥作物之栽培，可增加土壤中微生物活動，由於旺盛的生物化學作用影響礦物質之風化作用，而使土壤中原來無效狀態的養分，較容易轉變成有效狀態，並由於多量有機材料之保護下，表土之沖刷損失量減少甚多，而保住這些有效性養分，結果比一般農業能維持較高的土壤肥力水準，補償被作物移去的部分而有餘。

不同有機農場因經營方式不同，其養分供需情形不同，大致可分爲下列兩種:

1.自然農法農場的養分供需

依據國外實施自然農法的經驗，自然農法農場中氮素之自給自足是可以達到的，由於採行各種作物輪作，包含有混作及間作之實施，同時也含有可固定氮素之豆科作物，除了必要的收穫標的物(農產品)被從農場中移出，其餘生產之植物殘株，全數回歸農場土壤中，翻犁入土壤中供應養分及改善土壤理化及生物性質，或者作爲田面覆蓋，不但發揮保溫、保水作用，且可抑制雜草生長，避免其養分競爭，並且也因逐漸分解而可提供養分及改善土壤性質。

2.栽培單一種類作物有機農場之養分供需

理想的有機農法是採行適切的作物輪作之模式，而現今之有機農場爲講求經

營效率，節省工資支出及產品產銷便於掌控，在同一塊農田上幾乎全是採行單一種類作物之經營模式，例如有機水稻、有機茶樹、有機果樹或有機蔬菜栽培等等。此種栽培模式因爲每作均有大量的農產品被從農場中移走，也就是每作有大量相似比例的養分被從土壤中移走，且常因講求經濟效益未能有時間安排豆科作物輪作，缺乏固氮氮素之補充，僅靠農場中少量作物殘株回歸土壤，補充養分，顯然是不夠的。且投入養分與被移走養分間之種類與比例，也是截然不同。要想達到此種經營方式能持續的進行，必須由農場外移入大量有機物，亦即需購買有機肥料或有機資材補充於農場土壤中，才能禰補養分之不足。且可避免因採行同一種類作物連作形成土壤生物性單純化，衍生之連作障礙問題，保障作物生長良好。

## 耕犁與養分循環

土壤中的養分除了被作物攝取而被移出外，表土沖蝕、逕流與淋洗也是養分損失的途逕。過度頻繁之耕犁即有上述之缺失，此外，耕犁太深，不但浪費能源，也會降低表土層(即作物主要之根域層)之肥力，不利作物生長。淺耕的好處是可將作物殘株、堆肥、廄肥或其他有機廢棄物與表土充分混合而聚積於表土層，因而有助於改善土壤的滲浸作用，減少表土的結皮，進而減少逕流，防止沖蝕與養分向下移動或淋失。同時由於促進有機質分解的好氣性微生物及昆蟲，均集中分佈於表土層約 15 公分處，淺耕有助於有機質礦質化作用，而加速養分之釋放。再配合種植覆蓋作物及輪栽深淺根作物，是有機農業用以使養分由土壤深層向上移動，而聚積於土壤表層處的方法。這種管理方法，可減少養分流失及地下水被污染。

## 輪作制度之影響

每一種作物都有其最適生長的氣候環境，對於土壤特性之反應也各不相同，已往大家認爲可以改良土壤以適應作物，但是，所付出費用成本很大，並難達到滿意程度。因此，對作物於栽培環境之適應性，應先充分瞭解，並予以選擇安排種植適合該地區以及該季節之作物，以達到管理上省工省能源的效果。有機農業必須採用適合當地條件的輪作制度，其中必須包含豆科作物做爲綠肥作物，以維持對主作物氮素之供應。主作物之間以豆科作物相接，可收抑制雜草生長、防止

土壤沖刷與供應氮素之利。

連續種植相同或同類之作物，常會導入一些生物問題，例如較多的病、蟲及雜草危害作物生長，以及降低土壤肥力等。輪作將可減少這些問題之發生。輪作即將不同的作物考量其適宜之氣候及土壤環境而順序種植，可增加土壤生物之多樣性。輪作是一種維持地力及改善連作障礙之理想耕作方式，一個優良的輪作系統必須兼顧到作物特性與土壤生產力維持等問題，作物特性，首先需了解作物生理習性及前後作物搭配順序是否適當等問題，輪作田的生產潛力取決於輪作系統中前後作作物順序及肥培管理等因素。各期作作物收穫後地上部殘体或根系回歸於土壤，成爲維持土壤生物活性的重要能源。而土壤生物活性常是土壤肥沃度的主要影響因子。因此，前作物的種類、數量、與殘体性質是輪作系統中影響後作物生育表現良窳的指標。

輪作之方式，可以採用水田與旱田之耕作制度的輪替，既可有效的消除病蟲害與雜草之滋生，且可避免旱作連作所引起之土壤酸化及生產力降低等現象；豆科作物與其它非豆科作物之輪作，可以充分利用生物固氮，減少有機肥料用量；深根性與淺根性作物之輪作，可增加根生長之深度，有利於通氣與排水性之改善，以及利用較大容積之土壤養分，使作物養分達到均衡之目標；又需肥性多與需肥性少之作物輪作，可以免除土壤可溶性鹽分累積，造成一般耐鹽性差的作物生長受阻礙之不良現象。輪作制度之實施與土壤肥培管理得當，可以消除許多作物之土壤衍生性病害，並減低許多害蟲之族群與雜草的發生。此外，忌避作物之應用，以及栽培時期之注重，以避免害蟲之啃食，亦是有機農業栽培者常用的手段。

## 有機質肥料施用之策略

有機農場大部份養分靠有機質肥料提供，長時間大量地投入有機肥料於農場土壤中，是不可避免的。因此，合理而適切的施用有機質肥料，爲有機農場經營成敗之重要因素。必須注意下列事項:

1.有機質肥料施用要領

(1)考量有機質肥料之特性

有機質肥料種類繁多，大致可分爲難分解型與易分解型兩種:難分解型一般是以稻穀、樹皮、木屑、作物殘株等堆製腐熟而成之有機質肥料，含豐富纖維質，

但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、油類等腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素含量，適時、適量供應作物生長所需。此外，連年施用有機質肥料後，除了當作所施有機質肥料之可礦化養分量外，亦要評估土壤累積之既有有機質之可礦化養分量，以二者之和作爲預期可由有機質供給之要素量。

(2)考量作物種類與需肥特性

生產潛力較大之品種需肥量多，短期作物如蔬菜作物養分供應量充足(尤其是氮素養分)，長期作物如果樹作物要注重土壤性質改善，促進根系活性，以及配合作物各個生育分化階段，調節養分供應。

(3)注意有機質肥料品質

有機質肥料如未經醱酵完全，施用後易因繼續在土壤中醱酵，產生危害作物根部之物質，滋生病原菌及雜草叢生等現象，故在施用前要注意其品質。

(4)配合良好的水分管理

土壤的水分保持適宜狀態，有利於微生物活動分解堆肥釋出養分，且有益於作物根系吸收養分，提高有機質肥料養分之利用率。

2.有機質肥料肥效之檢討

有機質肥料養分單價偏高及養分含量偏低、體積膨鬆，且有機質肥料施於土壤中需經過分解過程始可釋出作物所需養分，其分解速率除了有機質肥料本身之性質外尙受土壤及氣候環境、耕作制度等所影響；有關機制亟需研究模擬，才能估測施用有機質肥料可供給之養分，因此即使是充分腐熟的有機質肥料，也不能克服適時適量供應作物足量的養分之困難。故有機質肥料的施用必須配合含氮素高且能快速供應氮素之有機資材例如豆粕類及有機液肥等，以符合經濟效益，並可供應作物充分養分。

3.長期施用之影響

長期過量的施用有機質肥料除了可能造成土壤中累積多量的有機質、礦化氮素量超過作物生長所需的氮素需要量，造成作物產量及品質下降及污染環境，此外，慣常以氮素含量爲估算施用量之基準常發生養分不均衡問題。表 1 顯示豬糞

堆肥及雞糞堆肥所含之磷含量顯著多於氮素含量(張學琨及羅秋雄 1994)。洪崑煌(1995)亦指出豬糞堆肥之 $N:P_2O_5:K_2O$ 為 3.7:7.2:2.3。而王鐘和等(1999)指出 15 作蔬菜三要素之吸收量為氮 110 公斤、公頃、磷酐 33 公斤/公頃及氧化鉀 170 公斤/公頃，顯然蔬菜作物吸收磷素之量顯著少於氮素，因此以氮素含量為基準之施肥 ，必然造成磷肥過量，長期施用所造成的不平衡將更加嚴重，相關長期施用有機質肥料之試驗亦有土壤中磷及鉀鈣鎂要素高量累積之現象，其對土壤環境及其他養分元素之影響，值得加以關注。

故長期施用有機質肥料時，應配合施含氮量高之有機資材，既可減少有機質肥料用量，且可避免上述現象產生。此外，長期施用有機質肥料亦有造成土壤 pH 值顯著提昇之現象，趙震慶等(1996)指出有機農耕法土壤 pH 值多在 7.2 及 8.3 之間，鍾仁賜及翁弘明(1998)亦有施用有機質肥料顯著提昇土壤 pH 值之報告，而王鐘和等(1999)亦有指出有機蔬菜區三作蔬菜連續施用雞糞堆肥後，表土 pH 達 7.6 顯著高於化肥區之 6.2。鑑於部份營養元素在鹼性之土壤環境中有效性降低，及鹼性環境易使銨態氮肥以氨氣之型態揮散，長期施用有機質肥料時，土壤 pH 之變動趨勢，實需加注意。

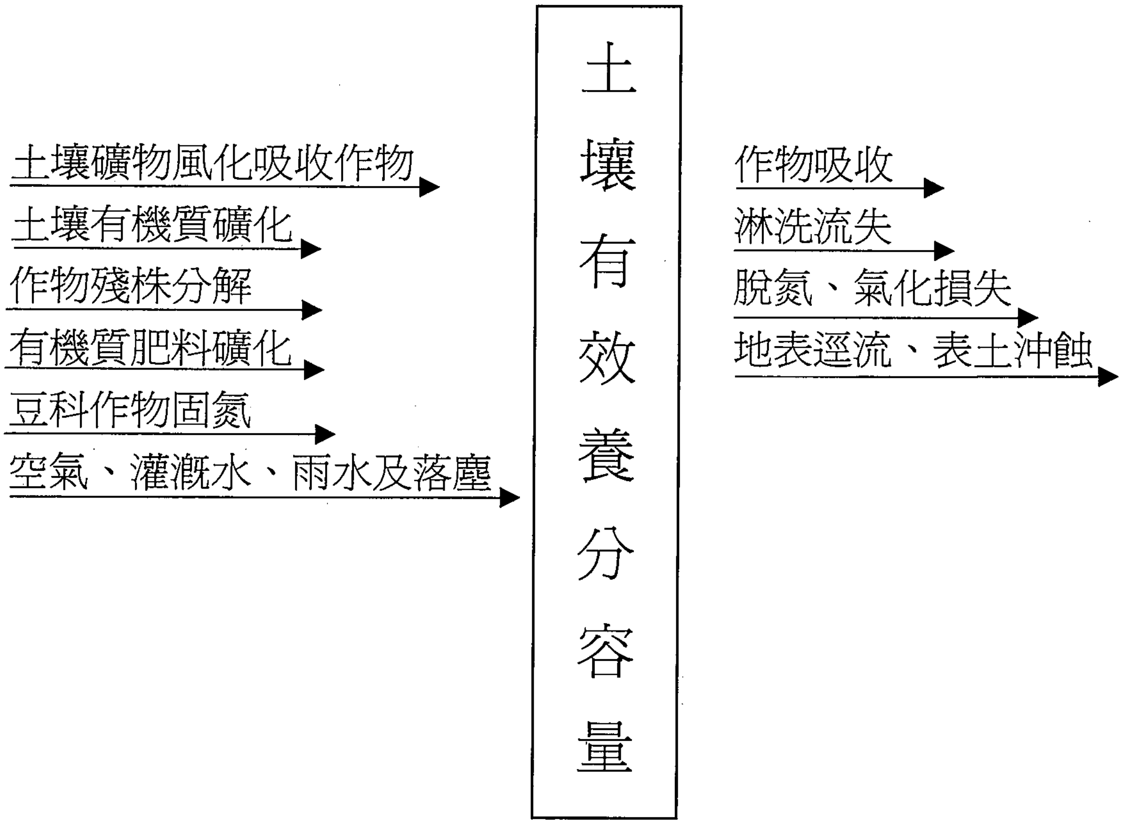
部份學術及農業試驗單位，分析過省產有機質肥料之品質，大家較注意的是重金屬含量偏高之問題，其中以銅、鋅、鋁、鎳較高，部份高於本省主要土類重金屬全量背景值之上限，相關試驗亦指出長期施用有機肥區表土萃取性銅與鋅量顯著高於化肥區，許福星等(1998)亦有施用牛糞堆肥及豬糞堆肥增加土壤中有效態銅鋅含量及狼尾草植體銅鋅含量之報告。綜合以上資料，雖然禽畜糞堆肥施用於農田對土壤肥力有所助益，但長期施用時，其所含重金屬仍須加以注意，因重金屬在土壤中不易回收，且有機質肥料之施用量甚大，施用有機質肥料是否使農田土壤受重金屬污染之顧慮值得重視。

## 定期土壤健康檢查

有機農產品是講求高品質的農產品，要想達到此目標，完善的養分的管理更形重要，鑑於目前市售的各種有機質肥料的品質與成份並不穩定，此項工作更加困難。有機農場土壤的定期健康檢查－「定期的土壤診斷」是重要的關鍵，亦即是定期採取農場土壤進行土壤速測，土壤速測是土壤肥力的快速診斷方法，係利用化學分析方法測定土壤樣品的若干物理化學性質與有效養分含量，藉以診斷該

土壤的肥力狀況，作爲施肥之參考依據。有機栽培因長期連續施用大量有機質肥料，此項土壤診斷工作，愈加重要，所謂知己知彼百戰百勝，定期診斷有機農場土壤之肥力狀況，不僅有助於安排養分供需之平衡，也是保障有機農產品品質及有機農場土壤環境品質之重要手段，更是有機農場養分管理成敗之關鍵所在。

圖 1.土壤中養分收支圖



表一.幾種堆肥的成份含量

| 有機質資材的種類 | 水分 (%) | 成分含量 (%) 碳 | 氮 | 磷酐 | 氧化鉀 | 碳氮比 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 稻草堆肥 | 75 | 7.6 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 19 |
| 木質牛糞堆肥 | 60 | 17.5 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 25 |
| 木質豬糞堆肥 | 60 | 17.1 | 0.9 | 1.3 | 0.7 | 19 |
| 木質雞糞堆肥 | 50 | 20.0 | 1.0 | 2.0 | 1.1 | 20 |
| 廄肥堆肥 | 60 | 10.8 | 0.3 | 0.1 | 0.04 | 36 |
| 穀殼堆肥 | 55 | 22.0 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 44 |

(資源來源:張學琨與羅秋雄 1994)

表二.每作蔬菜要素吸收量

| 地點 | 要素吸收量(公斤/公頃) 氮素 | 磷酐 | 氧化鉀 |
|---|---|---|---|
| 1 | 94 | 35.5 | 213 |
| 2 | 101 | 33.8 | 203 |
| 3 | 91 | 32.7 | 148 |
| 4 | 131 | 33.5 | 145 |
| 5 | 134 | 28.6 | 143 |
| 平均 | 110 | 32.8 | 170 |

註:每地點爲三作葉菜類蔬菜平均

(資料來源:王鐘和等1999)